

21
世纪

高职高专新概念教材

李中发 主 编

方厚辉 谢胜曙 胡 锦 副主编

电子技术基础

21 Shi Ji Gao Zhi Gao Zhuan Xin Gai Nian Jiao Cai



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专新概念教材

电子技术基础

李中发 主 编

方厚辉 谢胜曙 胡 锦 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了电子技术的基本概念、基本理论、基本方法及其在实际中的应用。主要内容包括：半导体器件、单级交流放大电路、多级放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、存储器与可编程逻辑器件、模拟量与数字量的转换。

本书充分体现了高职高专教育的特点，集电子技术和应用于一体。全书叙述简明，概念清楚；知识结构合理，重点突出；内容深入浅出，通俗易懂，文图并茂；例题、习题丰富，各章均有学习要求、概述和小结，书后有附录和各章习题参考答案。为了加强学生实践能力的培养，本书同时配有《电子技术基础实验与实习》（周美珍、陈昌彦主编）。

本书既可作为各类高等学校非电专业电子技术课程的教材或参考书，也可供有关工程技术人员参考。

本书为授课教师免费提供电子教案，此教案用 PowerPoint 制作，可以任意修改。需要者可以从中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载，也可与北京万水电子信息有限公司联系，联系电话：（010）82564395。

图书在版编目（CIP）数据

电子技术基础 / 李中发主编. —北京：中国水利水电出版社，2004

（21 世纪高职高专新概念教材）

ISBN 7-5084-1821-2

I. 电… II. 李… III. 电子技术—高等学校：技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 002971 号

书 名	电子技术基础
作 者	李中发 主 编 方厚辉 谢胜曙 胡 锦 副主编
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net（万水） sales@waterpub.com.cn
经 售	电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）、82562819（万水） 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787×1000mm 16 开本 18.25 印张 398 千字
版 次	2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	24.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

21 世纪高职高专新概念教材

编委会名单

主任委员 刘 晓 柳菊兴

副主任委员 胡国铭 张栻勤 王前新 黄元山 柴 野

张建钢 陈志强 宋 红 汤鑫华 王国仪

委 员 (按姓氏笔画排序)

马洪娟	马新荣	尹朝庆	方 宁	方 鹏
毛芳烈	王 祥	王乃钊	王希辰	王国思
王明晶	王泽生	王绍卜	王春红	王路群
东小峰	台 方	叶永华	宁书林	田 原
田绍槐	申 会	刘 猛	刘尔宁	刘慎熊
孙明魁	安志远	许学东	闫 菲	何 超
宋锦河	张 晞	张 慧	张弘强	张怀中
张晓辉	张浩军	张海春	张曙光	李 琦
李存斌	李作纬	李珍香	李家瑞	李晓桓
杨永生	杨庆德	杨名权	杨均青	汪振国
肖晓丽	闵华清	陈 川	陈 炜	陈语林
陈道义	单永磊	周杨娣	周学毛	武铁敦
郑有想	侯怀昌	胡大鹏	胡国良	费名瑜
赵 敬	赵作斌	赵秀珍	赵海廷	唐伟奇
夏春华	徐 红	徐凯声	徐雅娜	殷均平
袁晓州	袁晓红	钱同惠	钱新恩	高寅生
曹季俊	梁建武	蒋金丹	蒋厚亮	覃晓康
谢兆鸿	韩春光	詹慧尊	雷运发	廖哲智
廖家平	管学理	蔡立军	黎能武	魏 雄

项目总策划 雨 轩

编委会办公室 主 任 周金辉

副主任 孙春亮 杨庆川

参编学校名单

(按第一个字笔划排序)

三门峡职业技术学院
山东大学
山东交通学院
山东建工学院
山东省电子工业学校
山东农业大学
山东省农业管理干部学院
山东省教育学院
山东商业职业技术学院
山西阳泉煤炭专科学校
山西运城学院
山西经济管理干部学院
广州市职工大学
广州铁路职业技术学院
中华女子学院山东分院
中国人民解放军第二炮兵学院
中国矿业大学
中南大学
天津市一轻局职工大学
天津职业技术师范学院
长沙大学
长沙民政职业技术学院
长沙交通学院
长沙航空职业技术学院
长春汽车工业高等专科学校
北京对外经济贸易大学
北京科技大学职业技术学院
北京科技大学成人教育学院
石油化工管理干部学院
石家庄师范专科学校
辽宁交通高等专科学校
华中电业联合职工大学

华中科技大学
华东交通大学
华北电力大学工商管理学院
华北航天工业学院
江汉大学
江西渝州电子工业学院
江西赣西学院
西安外事学院
西安欧亚学院
西安铁路运输职工大学
西安联合大学
孝感职业技术学院
杨陵职业技术学院
昆明冶金高等专科学校
武汉大学动力与机械学院
武汉大学信息工程学院
武汉工业学院
武汉工程职业技术学院
武汉广播电视大学
武汉化工学院
武汉电力职业技术学院
武汉交通管理干部学院
武汉科技大学工贸学院
武汉商业服务学院
武汉理工大学
武汉铁路职业技术学院
河南济源职业技术学院
郑州工业高等专科学校
陕西师范大学
南昌水利水电高等专科学校
哈尔滨金融专科学校
济南大学

济南交通高等专科学校
济南职业技术学院
荆门职业技术学院
贵州无线电工业学校
贵州电子信息职业技术学院
恩施职业技术学院
黄冈职业技术学院
黄石计算机学院
湖北工学院
湖北丹江口职工大学
湖北交通职业技术学院
湖北汽车工业学院
湖北经济管理大学

湖北药检高等专科学校
湖北经济学院
湖北教育学院
湖北鄂州大学
湖北水利水电职业技术学院
湖南大学
湖南工业职业技术学院
湖南计算机高等专科学校
湖南省轻工业高等专科学校
湖南涉外经济学院
湖南郴州师范专科学校
湖南商学院
湖南税务高等专科学校

序

根据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》)的精神,由中国水利水电出版社北京万水电子信息有限公司精心策划,聘请我国长期从事高职高专教学、有丰富教学经验的教师执笔,在充分汲取了高职高专和成人高等学校在探索培养技术应用性人才方面取得的成功经验和教学成果的基础上,撰写了此套《21 世纪高职高专新概念教材》。

为了编写本套教材,出版社进行了广泛的调研,走访了全国百余所具有代表性的高等专科学校、高等职业技术学院、成人教育高等院校以及本科院校举办的二级职业技术学院,在广泛了解情况、探讨课程设置、研究课程体系的基础上,经过学校申报、征求意见、专家评选等方式,确定了本套书的主编,并成立了编委会。每本书的编委会聘请了多所学校主要学术带头人或主要从事该课程教学的骨干,教学大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论。

本套《21 世纪高职高专新概念教材》有如下特点:

(1) 面向 21 世纪人才培养的需求,结合高职高专学生的培养特点,具有鲜明的高职高专特色。本套教材的作者都是长期在第一线从事高职高专教育的骨干教师,对学生的基本情况、特点和认识规律等有深入的了解,在教学实践中积累了丰富的经验。因此可以说,每一本书都是教师们长期教学经验的总结。

(2) 以《基本要求》和《培养规格》为编写依据,内容全面,结构合理,文字简练,实用性强。在编写过程中,作者严格依据教育部提出的高职高专教育“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,力求从实际应用的需要(实例)出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念,加强了应用性和实际操作性的内容。

(3) 采用“问题(任务)驱动”的编写方式,引入案例教学和启发式教学方法,便于激发学习兴趣。本套书的编写思路与传统教材的编写思路不同:先提出问题,然后介绍解决问题的方法,最后归纳总结出一一般规律或概念。我们把这个新的编写原则比喻成“一棵大树、问题驱动”的原则。即:一方面遵守先见(构建)“树”(每本书就是一棵大树),再见(构建)“枝”(书的每一章就是大树的一个分枝),最后见(构建)“叶”(每章中的若干小节及知识点)的编写原则;另一方面采用问题驱动方式,每一章都尽量用实际中的典型实例开头(提出问题、明确目标),然后逐渐展开(分析解决问题),在讲述实例的过程中将本章的知识点融入。这种精选实例,并将知识点融于实例中的编写方式,可读性、可操作性强,非常适合高职高专的学生阅读和使用。本书读者通过学习构建本书中的“树”,由“树”找“枝”,顺

“枝”摸“叶”，最后达到构建自己所需要的“树”的目的。

(4) 部分教材配有实验指导和实训教程，便于学生练习提高。

(5) 部分教材配有动感电子教案。为顺应教育部提出的教材多元化、多媒体化发展的要求，大部分教材都配有电子教案，以满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。

(6) 提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套教材凝聚了数百名高职高专一线教师多年的教学经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。

本套教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校。

新的世纪吹响了我国高职高专教育蓬勃发展的号角，新世纪对高职教育提出了新的要求，高职教育占据了全面素质教育中所不可缺少的地位，在我国高等教育事业中占有极其重要的位置，在我国社会主义现代化建设事业中发挥着日趋显著的作用，是培养新世纪人才所不可缺少的力量。相信本套《21 世纪高职高专新概念教材》的出版能为高职高专的教材建设和教学改革略尽绵薄之力，因为我们提供的不仅是一套教材，更是自始至终的教育支持，无论是学校、机构培训还是个人自学，都会从中得到极大的收获。

当然，本套教材肯定会有不足之处，恳请专家和读者批评指正。

21 世纪高职高专新概念教材编委会

2001 年 3 月

前 言

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。它是 20 世纪才发展起来的新兴学科。几十年来,电子技术以惊人的发展速度改变着它自身和整个现代科学技术的面貌,对整个科学技术的发展起了极大的推动作用。目前,电子技术应用十分广泛,并且已经渗透到国民经济、国防和日常生活的一切领域,在我国社会主义现代化建设中占有极其重要的地位。

电子技术课程是高等工业学校非电类专业的一门技术基础课。它的任务是使学生通过本课程的学习,获得电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电子技术的应用和发展,为学习后续相关课程以及从事与本专业有关的工程技术工作和科学研究工作打下一定的基础。

本教材与《电工技术基础》(李中发主编,即将由中国水利水电出版社出版)作为电工学的一套教材,在章节安排和内容取舍上都作了仔细的协调。

本书集电子技术和应用于一体,在内容和结构上对电子技术课程进行了优化整合。在本书编写过程中,作者根据自己多年的教学经验及对课程改革的实践尝试,从时代发展、技术进步、知识结构、课程体系上进行总体考虑,力图实现以下目标:

叙述简明,内容深入浅出,通俗易懂,文图并茂,例题、习题丰富,各章均有学习要求、概述和小结,书后有附录和习题答案,便于教与学;内容精练,基本概念清楚,重点突出,难点不难;系统性强,使学生建立完整有序的概念;知识结构合理,为进一步学习有关后续课程和实际应用打下良好的基础;理论教学与实践教学紧密结合,注重学生的智力开发和能力培养;力图反映新技术、新动向,以适应电工电子技术发展和变化的需要。

本教材的理论教学时数约为 60 学时,实践教学时数约为 20 学时。在教学时可根据各专业的实际情况进行适当取舍。

本书是在教育部“高职高专教育电工课程教学内容体系改革、建设的确定与实践”(项目编号 III31-1)课题组和中国水利水电出版社指导下编写完成的。参加本书编写工作的有:许新民(第 1 章),邹津海(第 2 章),胡锦涛(第 3 章),谢胜曙(第 4 章),陈洪云(第 5 章),方厚辉(第 6 章),江亚群(第 7 章),李中发(第 8 章、第 9 章),向阳(第 10 章),杨华、周少华参加了部分习题的选编工作,陈玉英、李珊珊、陈南放等做了本书的文字录入和图表制作工作。本书由李中发担任主编,负责全书的组织、修改和定稿工作;由方厚辉、谢胜曙、胡锦涛担任副主编。

限于编者水平,书中缺点错误在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便修改。作者的 E-mail 地址为:li_zhongfa@163.net。

编 者

2004 年 1 月

目 录

序

前言

第 1 章 半导体器件	1
本章学习要求	1
1.1 PN 结	1
1.1.1 半导体的导电特征	2
1.1.2 PN 结及其单向导电性	2
1.2 半导体二极管	4
1.2.1 半导体二极管的结构	4
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	4
1.2.3 半导体二极管的主要参数	5
1.3 特殊二极管	7
1.3.1 稳压管	7
1.3.2 发光二极管	9
1.3.3 光电二极管	10
1.4 双极型三极管	10
1.4.1 三极管的结构及类型	10
1.4.2 三极管的电流分配和电流放大作用	12
1.4.3 三极管的特性曲线	12
1.4.4 三极管的主要参数	14
1.5 场效应晶体管	15
1.5.1 绝缘栅型场效应管的结构	16
1.5.2 绝缘栅型场效应管的工作原理和特性曲线	17
1.5.3 场效应管的主要参数	19
本章小结	19
习题一	20
第 2 章 单级交流放大电路	22
本章学习要求	22
2.1 放大电路的静态分析	22
2.1.1 放大电路的组成	23

2.1.2	估算法.....	24
2.1.3	图解法.....	24
2.2	放大电路的动态分析.....	25
2.2.1	图解法.....	26
2.2.2	微变等效电路法.....	28
2.3	静态工作点的稳定.....	32
2.3.1	温度对静态工作点的影响.....	32
2.3.2	静态工作点稳定的放大电路.....	33
2.4	射极输出器.....	36
2.4.1	静态分析.....	36
2.4.2	动态分析.....	37
2.5	场效应晶体管放大电路.....	39
2.5.1	静态分析.....	39
2.5.2	动态分析.....	40
	本章小结.....	42
	习题二.....	42
第3章	多级放大电路.....	47
	本章学习要求.....	47
3.1	多级放大电路的耦合方式.....	48
3.1.1	阻容耦合放大电路.....	48
3.1.2	直接耦合放大电路.....	52
3.2	差动放大电路.....	54
3.2.1	差动放大电路的工作原理.....	54
3.2.2	差动放大电路的输入输出方式.....	58
3.3	互补对称功率放大电路.....	59
3.3.1	功率放大电路的特点及类型.....	59
3.3.2	互补对称功率放大电路.....	60
3.4	集成运算放大器.....	62
3.4.1	集成运算放大器的特点.....	62
3.4.2	集成运算放大器的组成.....	63
3.4.3	集成运放的主要参数及种类.....	63
3.4.4	集成运放的理想模型.....	64
3.5	放大电路中的负反馈.....	65
3.5.1	反馈的基本概念.....	66
3.5.2	负反馈的类型及其判别.....	67

3.5.3 负反馈对放大电路性能的影响	69
本章小结	71
习题三	72
第4章 集成运算放大器的应用	78
本章学习要求.....	78
4.1 模拟运算电路.....	78
4.1.1 比例运算电路	78
4.1.2 加法和减法运算电路	83
4.1.3 积分和微分运算电路	87
4.2 信号处理电路.....	90
4.2.1 有源滤波器.....	90
4.2.2 采样保持电路.....	93
4.2.3 电压比较器.....	94
4.3 正弦波振荡器.....	95
4.3.1 自激振荡条件.....	95
4.3.2 RC 正弦波振荡器.....	96
4.4 使用运算放大器应注意的几个问题	98
4.4.1 选用元件.....	98
4.4.2 消振.....	98
4.4.3 调零.....	98
4.4.4 保护.....	98
4.4.5 扩大输出电流	99
本章小结	99
习题四	100
第5章 直流稳压电源.....	106
本章学习要求.....	106
5.1 整流电路.....	107
5.1.1 单相半波整流电路	107
5.1.2 单相桥式整流电路	108
5.2 滤波电路.....	112
5.2.1 电容滤波电路	112
5.2.2 电感滤波电路	114
5.2.3 复合滤波电路	115
5.3 直流稳压电路.....	115
5.3.1 并联型直流稳压电路	116

5.3.2 串联型稳压电路	116
5.3.3 集成稳压器	118
本章小结	119
习题五	120
第 6 章 门电路与逻辑代数	124
本章学习要求	124
6.1 数字电路概述	124
6.1.1 数字信号与数字电路	124
6.1.2 数制及其转换	126
6.1.3 编码	128
6.2 分立元件门电路	129
6.2.1 与逻辑和与门电路	129
6.2.2 或逻辑和或门电路	131
6.2.3 非逻辑和非门电路	132
6.2.4 复合门电路	133
6.3 集成门电路	134
6.3.1 TTL 门电路	134
6.3.2 CMOS 门电路	137
6.4 逻辑代数	138
6.4.1 逻辑代数的公式和定理	139
6.4.2 逻辑函数的表示方法	140
6.4.3 逻辑函数的化简	146
本章小结	150
习题六	150
第 7 章 组合逻辑电路	155
本章学习要求	155
7.1 组合逻辑电路的分析与设计	155
7.1.1 组合逻辑电路的分析	155
7.1.2 组合逻辑电路的设计	159
7.2 加法器与数值比较器	162
7.2.1 加法器	162
7.2.2 数值比较器	165
7.3 编码器	166
7.3.1 二进制编码器	166
7.3.2 二—十进制编码器	167

7.3.3 优先编码器	168
7.4 译码器	170
7.4.1 二进制译码器	170
7.4.2 二—十进制译码器	174
7.4.3 显示译码器	175
7.5 数据选择器与数据分配器	178
7.5.1 数据选择器	178
7.5.2 数据分配器	181
本章小结	182
习题七	183
第 8 章 触发器与时序逻辑电路	190
本章学习要求	190
8.1 双稳态触发器	191
8.1.1 RS 触发器	191
8.1.2 D 触发器	194
8.1.3 主从 JK 触发器	197
8.1.4 触发器逻辑功能的转换	199
8.2 寄存器	200
8.2.1 数码寄存器	200
8.2.2 移位寄存器	201
8.2.3 集成移位寄存器	204
8.3 计数器	205
8.3.1 二进制计数器	205
8.3.2 十进制计数器	208
8.3.3 N 进制计数器	210
8.4 555 定时器	217
8.4.1 555 定时器的结构和工作原理	217
8.4.2 555 定时器的应用	218
本章小结	223
习题八	224
第 9 章 存储器与可编程逻辑器件	231
本章学习要求	231
9.1 只读存储器	232
9.1.1 ROM 的结构	232
9.1.2 ROM 的工作原理	233

9.1.3	ROM 的应用	237
9.2	随机存取存储器	240
9.2.1	RAM 的结构	241
9.2.2	RAM 容量的扩展	242
9.3	可编程逻辑器件	244
9.3.1	PLD 的结构	244
9.3.2	PLD 的分类	245
9.3.3	PLD 的应用	247
9.3.4	PLD 设计过程简介	249
本章小结		250
习题九		250
第 10 章	模拟量与数字量的转换	254
本章学习要求		254
10.1	数模转换器	255
10.1.1	T 型电阻网络数模转换器	255
10.1.2	倒 T 型电阻网络数模转换器	258
10.1.3	集成数模转换器及其应用	259
10.1.4	数模转换器的主要技术指标	260
10.2	模数转换器	261
10.2.1	逐次逼近型模数转换器	261
10.2.2	集成 A/D 转换器及其应用	263
10.2.3	模数转换器的主要技术指标	265
本章小结		265
习题十		266
附录		267
部分习题参考答案		269
参考文献		278

第 1 章 半导体器件

本章学习要求

- 了解半导体二极管、三极管的结构。
- 理解二极管的工作原理、伏安特性和主要参数。
- 理解双极型三极管的放大作用、输入和输出特性曲线及主要参数。
- 了解 MOS 场效应管的伏安特性、主要参数及其与双极型三极管的性能比较。

半导体器件是用半导体材料制成的电子器件，是构成各种电子电路最基本的核心元件。电子技术就是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。

半导体器件具有体积小、重量轻、功耗低、使用寿命长等优点，在现代工业、农业、科学技术、国防等各个领域得到了广泛的应用。

半导体二极管和三极管是最常用的半导体器件。它们的基本结构、工作原理、伏安特性和主要参数是学习电子技术和分析电子电路必不可少的基础，而 PN 结又是构成各种半导体器件的共同基础。因此，本章首先介绍半导体的导电特性、PN 结及其单向导电性，然后介绍半导体二极管、双极型三极管和绝缘栅型场效应管的基本结构、工作原理、伏安特性和主要参数，为以后的学习打下基础。

1.1 PN 结

自然界中存在着各种物质，按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，主要有硅、锗、硒、砷化镓和氧化物、硫化物等。

半导体之所以被重视，是因为很多半导体的导电能力在不同的条件下有着显著的差异。例如，有些半导体如钴、锰、硒等的氧化物对温度的反应特别灵敏，环境温度升高时，他们的导电能力会明显增强。利用这种热敏特性可制成各种热敏元件。又如，有些半导体如镉、铝的硫化物和硒化物受到光照时，他们的导电能力会变得很强；当无光照射时，又变得像绝缘体那样不导电。利用这种光敏特性可制成各种光敏元件。

更重要的是，如果在纯净的半导体中掺入微量的杂质元素，其导电能力会猛增到几千、几万甚至上百万倍。利用半导体的这种掺杂特性，可制成种类繁多的具有不同用途的半导体器件，如二极管、双极型三极管、场效应管等。

1.1.1 半导体的导电特征

常用的半导体材料是硅和锗，它们都是四价元素。纯净的半导体具有晶体结构，所以半导体又称为晶体。在这种晶体结构中，原子与原子之间构成共价键结构。纯净半导体材料在热力学温度为零度的情况下，电子被共价键束缚得很紧，没有导电能力。当温度升高时，由于热激发，一些电子获得一定能量后会挣脱束缚成为自由电子，使半导体材料具有了一定的导电能力。同时在这些自由电子原来的位置上留下空位，称为空穴。空穴因失掉一个电子而带正电。由于正负电的相互吸引，空穴附近的电子会填补这个空位，于是又会产生新的空穴，又会有相邻的电子来递补，如此进行下去就形成空穴运动。由热激发产生的自由电子和空穴是成对出现的，称为电子空穴对。自由电子和空穴都称为载流子。

由此可见，半导体材料在外加电压作用下出现的电流是由自由电子和空穴两种载流子的运动形成的。这是半导体导电与金属导体导电机理上的本质区别。

在常温下，纯净半导体中自由电子和空穴的数量有限，导电能力并不很强。如果在纯净半导体中掺入某些微量杂质，其导电能力将大大增强。

在纯净半导体硅或锗中掺入磷、砷等五价元素，这类元素的原子最外层有 5 个价电子，故在构成的共价键结构中，由于存在多余的价电子而产生大量自由电子。这种半导体主要靠自由电子导电，称为电子半导体或 N 型半导体，其中自由电子为多数载流子，热激发形成的空穴为少数载流子。

在纯净半导体硅或锗中掺入硼、铝等三价元素，这类元素的原子最外层只有 3 个价电子，故在构成的共价键结构中，由于缺少价电子而形成大量空穴。这类掺杂后的半导体其导电作用主要靠空穴运动，称为空穴半导体或 P 型半导体，其中空穴为多数载流子，热激发形成的自由电子是少数载流子。

图 1-1 所示为 N 型半导体和 P 型半导体中载流子和杂质离子的示意图。图中 $\oplus$ 表示杂质原子因提供了一个价电子而形成的正离子， $\ominus$ 表示杂质原子因提供了一个空穴而形成的负离子。这些正、负离子不能移动，不能参与导电。



图 1-1 N 型半导体和 P 型半导体

(a) N 型半导体；(b) P 型半导体

值得注意的是，无论是 P 型半导体还是 N 型半导体都是中性的，对外不显电性。

1.1.2 PN 结及其单向导电性

采用适当工艺把 P 型半导体和 N 型半导体制作在同一基片上，使得 P 型半导体与 N 型半